低蛋白质饲粮添加谷氨酸对育肥猪蛋白质利用和生产性能的影响

甄吉福[1,2]　许庆庆[1,2]　李　貌[1,2]　孙志洪[1,2*]

（1.西南大学生物饲料与分子营养实验室，重庆 400715；2.西南大学动物科技学院，重庆 400715）

摘　要：本试验旨在研究低蛋白质饲粮中添加谷氨酸（Glu）对育肥猪蛋白质利用和生产性能的影响。试验 1 为氮平衡试验，选取 6 头体重为（54.2±1.0） kg 的“杜×长×大”三元杂交去势公猪，采用 3×3 有重复拉丁方设计，分为 3 期，每期 7 d。设计 3 种不同粗蛋白质（CP）水平的饲粮，分别为 14.0% CP（对照组）、12.5% CP+Glu 和 11.0% CP+Glu。试验 2 为饲养试验，采用完全随机区组试验设计，选取 30 头体重为（57.4±0.2） kg 的“杜×长×大”三元杂交去势公猪，随机分为 3 组，每组 10 个重复，每个重复 1 头猪。试验饲粮同试验 1。2 个试验的试验期均为 35 d。结果表明：1）与对照组相比，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低育肥猪的总氮摄入量、尿氮和总氮排放量（$P<0.05$）；11.0% CP+Glu 组的氮生物学价值显著高于对照组（$P<0.05$）。2）与对照组相比，低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪的初重、末重和平均日增重无显著影响（$P>0.05$），但可显著降低粗蛋白质摄入量和平均日粗蛋白质摄入量/平均日增重（$P<0.05$）。3）与对照组相比，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低育肥猪的血浆葡萄糖、尿素氮和游离脂肪酸含量（$P<0.05$）。4）11.0% CP+Glu 组育肥猪的空肠黏膜葡萄糖和丙酮酸含量显著高于对照组（$P<0.05$），11.0% CP+Glu 和 12.5% CP+Glu 组空肠黏膜乳酸含量显著低于对照组（$P<0.05$）。由此可见，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可降低育肥猪的尿氮和总氮排放量，提高蛋白质利用效率，对育肥猪的生产性能无显著影响。

关键词：低蛋白质饲粮；育肥猪；氮平衡；生产性能；氨基酸

中图分类号：S816

随着养猪业的集约化发展，养猪业所产生的氮污染越来越严重。我国每年畜禽总氮排放量约为 3 000 万 t，其中单胃动物（主要是猪）的氮排放量约占 57%。降低猪的氮排放量、减少养分浪费、降低对生态环境的破坏是我国养猪业今后研究的基本任务和急需解决的重大课题。其中，降低饲粮蛋白质水平是降低猪氮排放量的通用技术。为了保证猪的生产性能，

收稿日期：2017-07-24

基金项目：国家科技重大专项（2017YFD0500504）；国家重点基础研究发展计划（2013CB127304）；农业部“948”项目（2015Z74）

作者简介：甄吉福（1989—），男，河南新乡人，硕士研究生，从事单胃动物营养研究。E-mail: 625822471@qq.com

*通信作者：孙志洪，教授，硕士生导师，E-mail: sunzh2002cn@aliyun.com

一般在降低饲粮蛋白质水平时需补充必需氨基酸（essential amino acids，EAA）[1–5]；但当饲粮蛋白质降低至一定水平时，即使补充 EAA，猪的生产性能也会受到影响。本课题组前期研究发现，降低饲粮蛋白质水平时仅平衡 EAA（赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸和苏氨酸）会导致非必需氨基酸（non-essential AA，NEAA）的缺乏，从而引起大量 EAA 在肝脏中代谢转化为 NEAA，造成 EAA 的严重浪费[6]。谷氨酸（Glu）是极为重要的一种 NEAA，在促进动物生长和维持机体健康方面发挥着重要作用[7–11]。本研究在低蛋白质饲粮平衡 4 种 EAA（赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸和苏氨酸）的基础上添加 Glu，研究这一营养调控措施对育肥猪蛋白质利用、生产性能和物质代谢的影响，为减少氮排放量和提高蛋白质利用率提供科学参考。

1　材料与方法

1.1　试验设计与试验饲粮

试验 1 为氮平衡试验，选取 6 头体重为（54.2±1.0） kg 的“杜×长×大”三元杂交去势公猪，试验采用 3×3 有重复拉丁方设计，分为 3 期，每期 7 d，试验饲粮组成及营养水平见表 1。设计 3 种不同粗蛋白质（CP）水平饲粮，分别为 14.0% CP（对照组）、12.5% CP+Glu 和 11.0% CP+Glu，3 组饲粮均添加 0.1%的二氧化钛作为指示剂。

试验 2 为饲养试验，采用完全随机区组试验设计，选取 30 头体重为（57.4±0.2） kg 的“杜×长×大”三元杂交去势公猪，随机分为 3 组，每组 10 个重复，每个重复 1 头猪。试验饲粮同试验 1。2 个试验的试验期均为 35 d。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	组别 Groups		
	14.0% CP	12.5% CP+Glu	11.0% CP+Glu
原料 Ingredients			
玉米 Corn	73.04	73.77	73.89
豆粕 Soybean meal	15.00	11.00	5.98
麦麸 Wheat bran	5.00	5.00	5.00
米糠 Rice bran	3.50	3.50	3.50
玉米淀粉 Corn starch		2.23	5.19
豆油 Soybean oil	1.00	0.70	0.80
谷壳粉 Chaff powder		0.47	1.10

赖氨酸 Lys	0.17	0.31	0.48
蛋氨酸 Met	0.03	0.05	0.08
苏氨酸 Thr	0.04	0.10	0.18
色氨酸 Trp	0.01	0.03	0.05
半胱氨酸 Cys	0.02	0.04	0.07
缬氨酸 Val			0.10
异亮氨酸 Ile			0.08
苯丙氨酸 Phe			0.02
谷氨酸 Glu		0.43	0.87
石粉 Limestone	0.79	0.81	0.79
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.50	0.52	0.59
碳酸氢钠 $NaHCO_3$		0.14	0.33
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10	0.10	0.10
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
代谢能 ME/(MJ/kg)	13.80	13.80	13.80
粗蛋白质 CP	14.00	12.50	11.00
钙 Ca	0.52	0.52	0.52
有效磷 AP	0.24	0.24	0.24
粗纤维 CF	2.59	2.59	2.59
必需氨基酸 EAA			
赖氨酸 Lys	0.85	0.84	0.82
蛋氨酸 Met	0.25	0.25	0.25
苏氨酸 Thr	0.56	0.56	0.55
色氨酸 Trp	0.15	0.15	0.14
缬氨酸 Val	0.68	0.59	0.57
异亮氨酸 Ile	0.56	0.48	0.45

亮氨酸 Leu	1.30	1.18	1.00
苯丙氨酸 Phe	0.71	0.62	0.52
组氨酸 His	0.42	0.37	0.31
精氨酸 Arg	0.84	0.72	0.55
非必需氨基酸 NEAA			
丙氨酸 Ala	0.87	0.80	0.70
天冬氨酸 Asp	1.40	1.20	0.93
半胱氨酸 Cys	0.25	0.25	0.24
谷氨酸 Glu	2.72	2.72	2.72
甘氨酸 Gly	0.63	0.55	0.44
脯氨酸 Pro	0.84	0.77	0.66
丝氨酸 Ser	0.74	0.65	0.54
酪氨酸 Tyr	0.52	0.46	0.37

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：VA 10 500 IU，VD 4 500 IU，VE 5.4 IU，VK 0.9 mg，VB_6 4.6 mg，VB_{12} 0.016 mg，生物素 biotin 0.05 mg，叶酸 folic acid 0.29 mg，尼克酸 nicotinic acid 29.2 mg，泛酸 pantothenic acid 9.5 mg，胆碱 choline 0.45 g，核黄素 riboflavin 3.2 mg，硫胺素 thiamine 1.0 mg，Zn (as zinc sulfate) 86 mg，Fe (as ferrous sulfate) 97 mg，Mn (as manganese sulfate) 3.3 mg，Cu (as copper sulfate) 5.3 mg，I (as potassium iodide) 0.14 mg，Se (as sodium selenite) 0.265 mg。

[2)]代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.2 饲养管理

2 个试验均在西南大学动物养殖基地进行。试验 1 开始前 1 周将试验猪置于代谢笼（1.50 m×0.75 m×0.68 m）中单笼饲养，以适应环境和试验饲粮。试验 2 的试验猪置于不锈钢养殖笼中进行饲养。养殖房温度控制在（25±1） ℃，试验猪均自由采食、饮水。每天 08:00 和 18:00 进行饲喂，试验期间保持圈内清洁、干燥。试验期间准确记录每天饲粮的投喂量和剩余量。分别于试验第 1 和 35 天，08:00 测量猪的空腹体重。

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 氮平衡试验

每期随机采集各组饲粮 3 次，混合后粉碎过 40 目筛，常温保存。参照《饲料分析及饲

料质量检测技术》[12]检测饲粮的干物质、CP、钙、磷、粗纤维和氨基酸含量。

每期后 3 d 为粪样与尿样采集期。每天收集粪样 2 次，早晚各 1 次，每次将粪样混合均匀，然后取 10%置于封口袋中，并添加 10%的硫酸进行固氮（10 g 粪样：1 mL 硫酸溶液），粪样收集后于-20 ℃保存。每期结束后，将每头猪 3 d 采集的粪样进行混合，并在 65 ℃烘箱中烘至恒重，室温下回潮 24 h，称重并记录，之后粉碎过 40 目筛，用密封袋保存于-20 ℃待测。收集全部尿液，首先在尿液收集器中加 10 mL 10%硫酸，准确量取并记录尿液体积（为防止残渣掉入尿液，在漏斗处放上尼龙布；如尿液中有饲粮、粪等残渣，需过滤后才能量取），然后取 5%装入塑料瓶，于-20 ℃保存。待 3 d 样品采集完毕，将每头猪的尿液制成混合样品。参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[12]检测粪样的干物质和氮含量以及尿样的氮含量。

计算氮摄入量[（饲粮投喂量-剩余饲粮量）×饲粮氮含量]、粪氮（排粪量×粪氮含量）、尿氮（排尿量×尿氮含量）、总氮排放量（粪氮排放量+尿氮排放量）、氮沉积量（氮摄入量-粪氮排放量-尿氮排放量）、氮生物学价值[100×（食入氮-粪氮-尿氮）/（食入氮-粪氮）]。

1.3.2　饲养试验

分别于试验第 1、18 和 35 天随机采集饲粮样品，并按组将 3 次采集的饲粮样品进行混合，粉碎过 40 目筛，常温保存。测定指标与方法同 1.3.1。

计算平均日增重[（末重-初重）/试验天数]、粗蛋白质摄入量（采食量×饲粮粗蛋白质含量）和平均日粗蛋白质摄入量/平均日增重。

饲养试验结束后，分别从每组随机挑选 5 头猪，通过前腔静脉采集血液，置于装有肝素钠的 10 mL 离心管中，在 4 ℃、3 500 r/min 条件下离心 15 min，分离血浆，并保存于-80 ℃超低温冰箱中。血浆葡萄糖、尿素氮和游离脂肪酸含量采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定，严格按照说明书操作。

血液采集结束后，将猪进行屠宰，分离、结扎肠道。采集空肠黏膜样品，用液氮速冻后置于-80 ℃超低温冰箱保存。空肠黏膜代谢产物葡萄糖、丙酮酸和乳酸含量采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定，严格按照说明书操作。

1.4　数据统计分析

试验 1 数据采用 SAS 9.0 统计软件中的 MIXED 模块进行统计检验分析，统计模型中包含试验猪的随机因素和试验期、试验饲粮的固定因素。试验 2 数据采用 SAS 9.0 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA）。差异显著者采用 LSD 法进行多重比较，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结　果

2.1 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪氮平衡的影响

由表 2 可知，与对照组相比，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低育肥猪的总氮摄入量、尿氮和总氮排放量（P<0.05）；11.0% CP+Glu 组的氮生物学价值显著高于对照组（P<0.05）。

表 2　低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪氮平衡的影响

Table 2　Effects of low-protein diet supplemented with Glu on nitrogen balance of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	14.0% CP	12.5% CP+Glu	11.0% CP+Glu		
氮摄入量 Total nitrogen intake/(g/d)	42.50[a]	38.30[b]	35.40[c]	0.60	<0.050
粪氮 Fecal nitrogen/(g/d)	9.56	8.59	8.21	0.10	0.053
尿氮 Urinary nitrogen/(g/d)	13.50[a]	10.70[b]	8.78[c]	0.28	<0.050
总氮排放量 Total nitrogen losses/(g/d)	23.10[a]	19.30[b]	17.00[c]	0.27	<0.050
氮沉积量 Nitrogen retention/(g/d)	19.10	19.00	18.40	0.34	0.345
氮消化率 Nitrogen digestibility/%	77.70	76.80	75.60	0.37	0.239
氮生物学价值 Nitrogen BV/%	59.00[b]	64.00[ab]	67.70[a]	0.39	<0.050

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P＜0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪生产性能的影响

由表 3 可知，3 组育肥猪的初重、末重和平均日增重无显著差异（P>0.05）；与对照组相比，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低粗蛋白质摄入量和平均日粗蛋白质摄入量/平均日增重（P<0.05）。

表 3　低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪生产性能的影响

Table 3　Effects of low-protein diet supplemented with Glu on performance of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	14.0% CP	12.5% CP+Glu	11.0% CP+Glu		
初重 Initial BW/kg	57.20	57.40	57.20	2.57	0.999
末重 Final BW/kg	90.30	90.90	90.30	3.57	0.921
平均日增重 ADG/kg	0.95	0.96	0.95	0.03	0.773

粗蛋白质摄入量 CP intake/g	330.00^a	305.00^b	285.00^c	9.09	<0.050
平均日粗蛋白质摄入量/平均日增重 Average daily CP intake/ADG	0.35^a	0.32^b	0.30^b	0.07	<0.050

2.3 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪血浆生化指标的影响

由表 4 可知，与对照组相比，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低育肥猪的血浆葡萄糖、尿素氮和游离脂肪酸含量（*P*<0.05）。

表 4 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪血浆生化指标的影响

Table 4 Effects of low-protein diet supplemented with Glu on plasma biochemical indexes of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值
	14.0% CP	12.5% CP+Glu	11.0% CP Glu		*P*-value
葡萄糖 Glucose/(mmol/L)	7.59^a	6.98^b	6.90^b	0.08	<0.050
尿素氮 Urea nitrogen/(mmol/L)	3.45^a	2.85^b	2.11^c	0.13	<0.050
游离脂肪酸 FFA/(μmol/L)	952.00^a	671.00^b	566.00^c	34.30	<0.050

2.4 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪空肠黏膜代谢产物含量的影响

由表 6 可知，11.0% CP+Glu 组育肥猪的空肠黏膜葡萄糖和丙酮酸含量显著高于对照组（*P*<0.05）；11.0% CP+Glu 和 12.5% CP+Glu 组的空肠黏膜乳酸含量显著低于对照组（*P*<0.05）。

表 5 低蛋白饲粮中添加 Glu 对育肥猪空肠黏膜代谢产物含量的影响

Table 5 Effects of low-protein diet supplemented with Glu on metabolite contents of jejunal mucosa of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值
	14.0% CP	12.5% CP+Glu	11.0% CP+Glu		*P*-value
葡萄糖 Glucose/ (mmol/g prot)	0.19^b	0.23^b	0.36^a	0.029	<0.050
丙酮酸 Pyruvic aicd/(μmol/g prot)	5.02^b	5.71^b	7.99^a	0.550	<0.050
乳酸 Lactic acid/(mmol/g prot）	0.33^a	0.20^b	0.16^b	0.020	<0.050

3 讨 论

3.1 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪氮平衡的影响

目前，降低饲粮蛋白质水平并补充重要 EAA 是降低猪氮排放量的通用技术[1-5]。饲粮蛋

白质水平每降低 1%，猪总氮排放量约减少 8%[5,11]。尽管研究已经表明，饲粮蛋白质水平降低 2%~3%，育肥猪的氮沉积量无显著变化[13–15]，但在实际生产中尤其是在集约化养殖场，低蛋白质饲粮难以得到广泛推广。因此，有必要深入研究猪的氮排放规律，以揭示低蛋白质饲粮的生长限制机制，为配制更为高效的饲粮提供科学依据。本课题组前期研究发现，低蛋白质饲粮仅平衡重要 EAA 会降低 NEAA 在门静脉回流组织（胃、肠道、胰脏、脾脏和腹脂大网膜脂肪）中的净吸收量，进一步导致肝脏动用大量 EAA 以转化为 NEAA，造成 EAA 的浪费以及氨基酸利用率的降低[16]。因此，推测低蛋白质饲粮在平衡重要 EAA 的基础上补充某些 NEAA（如 Glu）会解决传统低蛋白质饲粮的这一缺点。本研究结果显示，饲粮蛋白质水平降低 21.4%时添加 Glu 能够显著降低育肥猪的总氮排放量，且对育肥猪的氮沉积量无负面影响。出现这一结果的原因可能为：Glu 是重要的 NEAA，其在门静脉回流组织中被大量代谢，只有小部分的 Glu 可从肠腔进入肠系膜静脉[5,14]；低蛋白质饲粮中添加 Glu 可增加对门静脉回流组织的能量供应，从而减少门静脉回流组织对其他氨基酸的消耗，使得进入肝脏的氨基酸模式更为平衡，在肝脏中转化为 NEAA 的 EAA 数量将大幅度降低；氨基酸的整体利用率得以提高，蛋白质沉积量也得到提高。但本研究并未测定回肠末端氨基酸消化率、门静脉氨基酸净吸收率和肝脏中氨基酸的消耗量，因此，研究结果不能直接说明低蛋白质饲粮中添加 Glu 对饲粮氨基酸消化、吸收和代谢的影响，上述推测还需要进一步开展小肠瘘管、血插管试验来验证。

3.2　低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪生产性能的影响

研究报道，在补充部分 EAA 的条件下，饲粮蛋白质水平降低 2%~3%对猪的生产性能无显著影响[1,5]。但饲粮蛋白质降低水平超过 3%时猪的生产性能就会受到抑制[17–20]，导致低蛋白质饲粮技术在集约化生产中难以得到广泛应用。本研究结果显示，添加 Glu 后饲粮蛋白质水平降低 21.4%而对育肥猪的生产性能无显著影响。试验结果表明，Glu 可解除传统低蛋白质饲粮对猪的生长限制作用。Glu 的促生长作用与其代谢燃料功能密切相关：1）Glu 虽然不是限制性氨基酸，但其在氨基酸代谢中具有特殊的地位；2）Glu 在门静脉回流组织中大量代谢供能，减少了其他可能限制生长的氨基酸的消耗；3）由于 Glu 是几乎所有氨基酸代谢的中转站，当其他氨基酸不足时，Glu 可以通过转氨基作用补充。除此之外，传统低蛋白质饲粮补充 Glu 对猪生产性能的影响还与 Glu 的其他生理功能密不可分，如 Glu 可减少体内脂肪沉积、降低肌纤维直径、提高饲料利用效率[21]。Feng 等[22]研究发现，饲粮中添加谷氨酸钠可通过增加消化道氨基酸转运载体的表达量来提高空肠氨基酸的吸收量。Glu 可降低猪的氧化应激水平、缓解毒素引起的肠道损伤，从而在维持肠道和机体健康方面具有重要作用

[23-24]。

3.3 低蛋白质饲粮中添加 Glu 对育肥猪物质代谢的影响

葡萄糖是机体的主要供能物质，在动物生命和生产活动中发挥着重要的作用；游离脂肪酸是脂质代谢水平的重要指标，其含量的高低可以反映机体脂质代谢的水平。本研究发现，低蛋白质饲粮中添加 Glu 可降低育肥猪的血浆葡萄糖和游离脂肪酸含量。出现这一结果的原因可能为：1）低蛋白质组育肥猪用于供能的氨基酸少，因此育肥猪对葡萄糖和脂肪酸的利用程度高，造成血浆葡萄糖和脂肪酸含量低；2）低蛋白质组育肥猪的糖异生作用和脂肪酸合成量低。血浆尿素氮是反映机体蛋白质利用效率的一个重要指标，可认为氨基酸利用效率越高，血浆尿素氮含量越低。本研究发现，低蛋白质组育肥猪的血浆尿素氮含量显著降低，研究结果说明低蛋白质饲粮中添加 Glu，氨基酸用于分解代谢的数量显著降低，这一结果与氮沉积和生产性能试验的结果相一致。本试验结果说明，低蛋白质饲粮中补充 Glu 会增加胃肠道上皮组织对葡萄糖和脂肪酸的利用，从而减少氨基酸的氧化供能，使得更多的氨基酸能够进入血液循环并用于合成机体蛋白质，以保持低蛋白质组育肥猪的正常生产性能。

4 结　论

①低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低育肥猪的总氮摄入量、尿氮和总氮排放量，提高蛋白质利用效率。

②低蛋白质饲粮中添加 Glu 可降低 21.4%的饲粮蛋白质含量而对育肥猪的生产性能无显著影响。

③低蛋白质饲粮中添加 Glu 可显著降低育肥猪的血浆葡萄糖、游离脂肪酸含量，提高胃肠道上皮组织对葡萄糖的利用。

参考文献：

[1] LE BELLEGO L,VAN MILGEN J,NOBLET J.Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2002,80(3):691–701.

[2] SHRIVER J A,CARTER S D,SUTTON A L,et al.Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein,amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion,growth performance,and carcass traits of finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2003,81(2):492–502.

[3] AARNINK A J A,VERSTEGEN M W A.Nutrition,key factor to reduce environmental load from pig production[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):194–203.

[4] HINSON R B,SCHINCKEL A P,RADCLIFFE J S,et al.Effect of feeding reduced crude

protein and phosphorus diets on weaning-finishing pig growth performance,carcass characteristics,and bone characteristics[J].Journal of Animal Science,2009,87(4):1502–1517.

[5] GALLO L,MONTÀ G D,CARRARO L,et al.Growth performance of heavy pigs fed restrictively diets with decreasing crude protein and indispensable amino acids content[J].Livestock Science,2014,161:130–138.

[6] 陈澄.日粮蛋白水平对仔猪肝脏氨基酸代谢转化的影响研究[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2015:21–24.

[7] WATFORD M.Glutamine metabolism and function in relation to proline synthesis and the safety of glutamine and proline supplementation[J].Journal of Nutrition,2008,138(10):2003S–2007S.

[8] JANECZKO M J,STOLL B,CHANG X Y,et al.Extensive gut metabolism limits the intestinal absorption of excessive supplemental dietary glutamate loads in infant pigs[J].Journal of Nutrition,2007,137(11):2384–2390.

[9] LARSSON T,KOPPANG E O,ESPE M,et al.Fillet quality and health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a diet supplemented with glutamate[J].Aquaculture,2014,426–427:288–295.

[10] ZHANG J,YIN Y L,SHU X G,et al.Oral administration of MSG increases expression of glutamate receptors and transporters in the gastrointestinal tract of young piglets[J].Amino Acids,2013,45(5):1169–1177.

[11] KERR B J,EASTER R A.Effect of feeding reduced protein,amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs[J].Journal of Animal Science,1995,73(10):3000–3008.

[12] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[13] CANH T T,AARNINK A J A,SCHUTTE J B,et al.Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs[J].Livestock Production Science,1998,56(3):181–191.

[14] BALL M E E,MAGOWAN E,MCCRACKEN K J,et al.The effect of level of crude protein and available lysine on finishing pig performance,nitrogen balance and nutrient digestibility[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2013,26(4):564–572.

[15] WALZ O P,PALLAUF J.Microbial phytase combined with amino acid supplementation reduces P and N excretion of growing and finishing pigs without loss of

performance[J].International Journal of Food Science and Technology,2002,37(7):835–848.

[16] WU G Y.Functional amino acids in growth,reproduction,and health[J].Advances in Nutrition,2010,1(1):31–37.

[17] OTTO E R,YOKOYAMA M,KU P K,et al.Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration[J].Journal of Animal Science,2003,81(7):1743–1753.

[18] HE L Q,LI W,XU Z Q,et al.Low-protein diets affect ileal amino acid digestibility and gene expression of digestive enzymes in growing and finishing pigs[J].Amino Acids,2016,48(1):21–30.

[19] ROUX M L,DONSBOUGH A L,WAGUESPACK A M,et al.Maximizing the use of supplemental amino acids in corn-soybean meal diets for 20- to 45-kilogram pigs[J].Journal of Animal Science,2011,89(8):2415–2424.

[20] FIGUEROA J L,LEWIS A J,MILLER P S,et al.Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein,amino acid-supplemented diets[J].Journal of Animal Science,2002,80(11):2911–2919.

[21] 周笑犁,孔祥峰,范觉鑫,等.味精与高脂日粮对生长猪胴体性状与组成的影响[J].食品工业科技,2014,35(5):330–333,337.

[22] FENG Z M,ZHOU X L,WU F,et al.Both dietary supplementation with monosodium *L*-glutamate and fat modify circulating and tissue amino acid pools in growing pigs,but with little interactive effect[J].PLoS One,2014,9(1):e84533.

[23] WU M M,XIAO H,REN W K,et al.Therapeutic effects of glutamic acid in piglets challenged with deoxynivalenol[J].PLoS One,2014,9(7):e100591.

[24] 吴苗苗,肖昊,印遇龙,等.谷氨酸对脱氧雪腐镰刀菌烯醇刺激下的断奶仔猪生长性能、血常规及血清生化指标变化的干预作用[J].动物营养学报,2013,25(7):1587–1594.

Effects of Low-Protein Diet Supplemented with Glutamate on Protein Utilization and Performance of Finishing Pigs

ZHEN Jifu[1,2] Xu Qingqing[1,2] Li Mao[1,2] SUN Zhihong[1,2*]

(1. *Laboratory of Bio-Feed and Molecular Nutrition, Southwest University, Chongqing* 400715, *China;* 2. *College of Animal Science and Technology, Southwest University,*

*Corresponding author, professor, E-mail: sunzh2002cn@aliyun.com （责任编辑 李慧英）

Chongqing 400715*, China*）

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effects of low-protein diet supplemented with glutamate (Glu) on the protein utilization and performance of finishing pigs. Experiment 1 was a nitrogen balance test, six “Duroc×Landrace×Yorkshire” three-way hybrid castrated boars with body weight of (54.2±1.0) kg were collected, and the 3×3 replicated Latin square design was utilized. The experiment included 3 periods with 7 days per period. The 3 diets with different levels of crude protein (CP) were 14.0% CP (control group), 12.5% CP+Glu and 11.0% CP+Glu. Experiment 2 was a feeding test, thirty “Duroc×Landrace×Yorkshire” three-way hybrid castrated boars with body weight of (57.4±0.2) kg were randomly assigned to 3 groups with 10 replicates per group and 1 pig per replicate by completely randomized block design. The experimental diets were same as experiment 1. The test period of 2 experiments was 35 days. The results showed as follows: 1) compared with control group, low-protein diet supplemented with Glu significantly decreased the total nitrogen intake, urinary nitrogen and the total nitrogen losses of finishing pigs ($P<0.05$). Nitrogen biological value in 11.0% CP+Glu group was significantly higher than that in control group ($P<0.05$). 2) Compared with control group, low-protein diet supplemented with Glu had no significant effects on initial body weight, final body weight and average daily gain (ADG) ($P<0.05$), but significantly decreased CP intake and the ratio of average daily CP intake to ADG ($P<0.05$). 3) Compared with control group, low-protein diet supplemented with Glu significantly decreased the contents of glucose, urea nitrogen and free fatty acids in plasma of finishing pigs ($P<0.05$). 4) The contents of glucose and pyruvic acid in jejunal mucosa of finishing pigs in 11.0% CP+Glu group were significantly higher than those in control group ($P<0.05$), and the content of actic acid in jejunal mucosa in 11.0% CP+Glu and 12.5% CP+Glu groups was significantly lower than that in control group ($P<0.05$). In conclusion, low-protein diet supplemented with Glu can decrease urinary nitrogen and the total nitrogen losses, improve protein utilization and has no significant effect on performance of finishing pigs.

Key words: low-protein diet; finishing pig; nitrogen balance; performance; amino acid